

# **Interaktives Montageplanungssystem zur Online-Leistungssteuerung**

## ***Interactive assembly planning system for online performance control***

Lothar März, STREMLER AG, Lindau (Germany), lothar.maerz@strempler.de

**Abstract:** This paper presents a simulation-based planning software that is developed for online performance control in assembly lines within the plant construction business. The software is foreseen in assembly lines with sequenced production lines and assembly stations, but will be also employable in other industries with a sufficiently high number of different products and variants. The solution enables the planner to change the configuration in an interactive manner, which means the changes were simulated within a few seconds as it were online. To this end, the software periodically collects process times, sequence and feature data of products and production. A web-based user interface enables to set and change reference data, define process simulations and allows running different simulations scenarios.

## **1 Planung der Montage**

### **1.1 Stufen der Planung**

Zur effizienten Produktion von Anlagen ist eine hierarchische, aufeinander abgestimmte und durchgängige Planung notwendig. Die Abstimmung der Marktanforderungen mit den vorhandenen Kapazitäten erfolgt anhand einer hierarchischen Planung, die in Abhängigkeit von Planungshorizont und verfügbaren Planungsinformationen je Planungsstufe versucht, Engpässe zu identifizieren und Maßnahmen bei Planabweichungen zu bewirken (Minichmayr et al. 2011). In Abbildung 1 sind die Planungsstufen mit exemplarischen Zeithorizonten und Aufgaben aufgezeigt. Mit abnehmendem zeitlichem Abstand zur Ausführung nimmt die Konkretisierung der Planung zu und mündet in eine operative Steuerung der Fertigung und Montage. Das vorgestellte interaktive Montageplanungssystem fokussiert auf die Kurzfristplanung sowie der Steuerung der Montage im Anlagenbau.

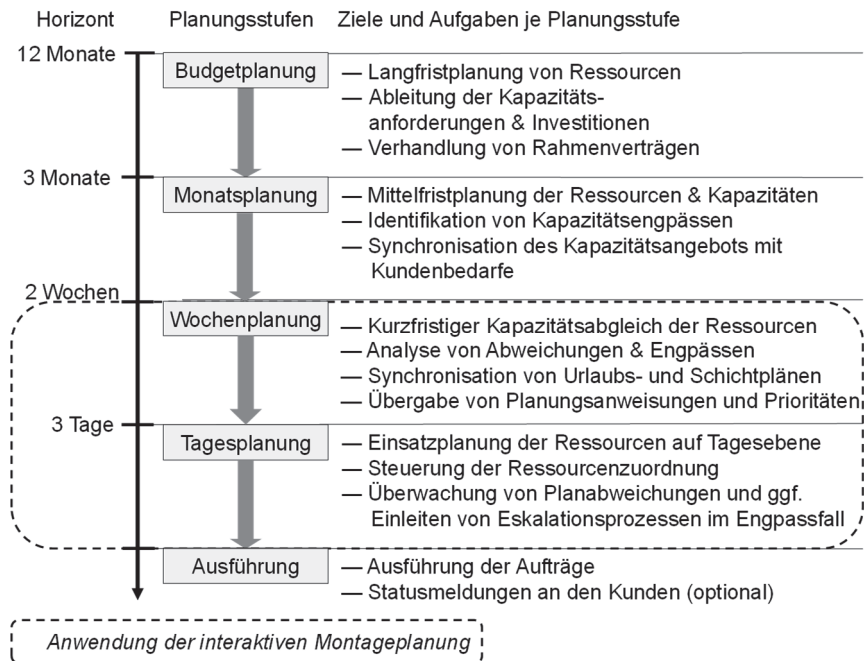


Abbildung 1: Hierarchische Planung

## 1.2 Einflussgrößen der Planung im Anlagenbau

Bei der Planung von modularen Anlagen mit hoher konstruktiver Varianz, teilweise sehr langen Montageprozessen, komplexen Arbeitsinhalten und oft schweren Bauteilen fällt die Austaktung der Montagelinien auf eine Reihe von Herausforderungen (Hentschel 2009). Die Planung der Montage im Anlagenbau ist geprägt

- durch stark schwankenden Aufwänden in den Montagestationen, z.B. in getakteten Linien oder Standmontagen sowie im Versand, da der Abgang der Maschinen nicht synchron zur Produktion verläuft;
- durch die Nachfrage nach spezifischen und zumeist limitierten Qualifikationen (Elektronik, Test, ...) sowie
- durch Materialbedarfe zu unterschiedlichen Montagezeitpunkten, die für nachfolgende Montageschritte zwingende Voraussetzung für eine Montagefortführung sind.

Die Planung erfolgt anhand einer hierarchischen Planung, wie sie in Abbildung 1 dargestellt wurde: zunächst erfolgt die Planung auf aggregierter Ebene unter Berücksichtigung von Hauptkriterien (potentiellen Engpässen). Im Anschluss wird das Planungsergebnis an die Montageplanung übergeben, die eine tagesgenaue Sequenzierung der Auftragsabarbeitung vornimmt (Auer et al. 2011). In diesem Schritt wird die Austaktung der Linien bzw. Stände durch die Bildung einer Auftragsreihenfolge, zumeist unter Verwendung von Optimierungsalgorithmen vorgenommen (Altemaier 2009).

In der operativen Steuerung unterliegt die Montage üblicherweise kurzfristigen Änderungen. Dabei stellen sich folgende Fragen: welche Entscheidungen haben welchen Einfluss auf den Auftragsbestand und den Ressourcen bzw. welche Maßnahmen sind zu treffen, um das gewünschte Ziel einer hohen Auslastung bei gleichzeitiger Erfüllung der Terminvorgaben zu erreichen?

### 1.3 Ablauf der Planung im Anlagenbau

Zur Beantwortung der zuvor gestellten Fragen müssen die notwendigen Informationen über die Prozessfolgen und –aufwände der zu produzierenden Anlagen bzw. Maschinen in Form von Arbeitsplänen vorliegen. Im hochspezialisierten Maschinenbau gleicht allerdings keine Maschine der anderen. Um der Individualisierung im Anlagenbau zu begegnen, werden Standardarbeitspläne an die kundenspezifischen Belange angepasst. Damit liegen die Prozesszeit- und Qualifikationsanforderungen erst wenige Wochen vor dem eigentlichen Montageprozess vor. Die Aufwände der einzuplanenden Maschinen werden auf die Montage- und Versandstationen in Tagestöpfen verteilt, um anhand von Hauptkriterien Engpässe bereits zu einem frühen Zeitpunkt erkennen zu können.

Die Grobplanung wird wenige Wochen vor Montagestart fixiert, sofern die Materialverfügbarkeit gesichert ist. Auf Basis dieser Grundlage kann der Montageplaner nun seinerseits eine Sequenzierung innerhalb der Tagesscheiben vornehmen und den Einsatz seiner Mitarbeiter steuern.

Allerdings unterliegen die Montage- und Versandprozesse Störungen und Planabweichungen:

- Bestimmte Prozesse sind schwierig im Vorfeld der Planung zu terminieren, bspw. Testdurchläufe, sodass solcherart Prozesse kürzer als auch länger dauern können als angenommen und damit Engpassmitarbeiter binden.
- Fehlteile verhindern den Fortgang der Montage bzw. erzwingen eine Änderung an den Montagereihenfolgen und den damit verbundenen Einsatzzeitpunkten der Mitarbeiter.
- Durch die Anhäufung von Krankheitsfällen von Montage- bzw. Versandmitarbeitern steht die geplante Personalkapazität nicht zur Verfügung.

Diese und weitere Gründe bedürfen einer Reorganisation der Montagereihenfolgen. Die Änderung der Planung ist hinsichtlich seiner Auswirkungen auf das bestehende Montageprogramm zu bewerten. Aktuelle Planungs- und Stammdatenverwaltungsprogramme wie z.B. SAP stellen eine solche Funktionalität nicht zur Verfügung, da sie die komplexen Wirkungszusammenhänge von Prozessen, Ressourcen und Produkte nicht abbilden können. Dafür eignen sich Simulationsmodelle. Im folgenden Kapitel ist die Zielsetzung und Systematik eines simulationsbasierten Montageplanungssystems erläutert, welches die Möglichkeit aufweisen soll, Änderungen im interaktiven Modus analysieren und bewerten zu können.

## 2 Interaktives Montageplanungssystem

### 2.1 Zielsetzung

Das Ziel zur Einführung eines simulationsbasierten Montageplanungssystems ist es, die vorhandene Planungshierarchie auf der Ebene der Kurzfristplanung und der operativen Steuerung um den Baustein eines interaktiven Entscheidungsunterstützungssystems zu erweitern. Im Einzelnen sollen damit folgende Ziele erreicht werden.

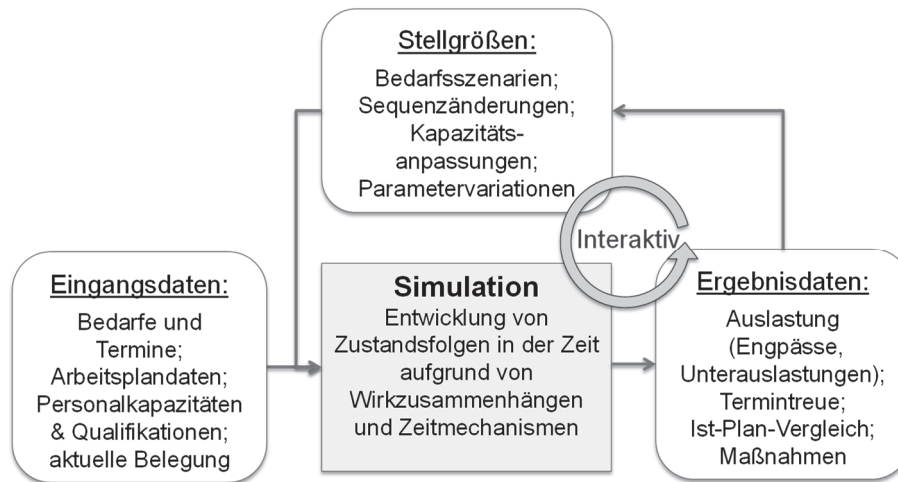
- Verbesserte Planung der Montage bis zur Auslieferung durch die Nutzung eines interaktiven Montageplanungssystems zur Vermeidung von Unterauslastungen und Engpässen;
- Optimierung des Ressourceneinsatzes mit Konflikterkennung unter Berücksichtigung von Personalkapazitäten, Qualifikationen und dynamischen Abhängigkeiten in Montage und Versand;
- Absicherung der Vertriebsplanung durch Überprüfung der Machbarkeit von Anfragen hinsichtlich Liefertermine;
- Erweiterung der Planungsfunktionalität durch den Vergleich von Szenarien mit veränderten Stellgrößen (Sequenz, Kapazitäten, Bedarfe);
- Erhöhen der Reaktionsfähigkeit bei Änderungen durch schnell verfügbare Ergebnisdaten und –reports und
- Einbindung in operative Planungsprozesse durch definierte Datenübernahmen z.B. anhand von SAP-Schnittstellen.

Entscheidende Voraussetzung für einen solchen Einsatz ist die Funktionalität, eine unmittelbare Darstellung der Auswirkungen einer Änderung auf die Auslastungs- und Terminsituation aufzeigen zu können. Bei einer Veränderung eines Prozess-, Bedarfs- bzw. Kapazitätsparameter ist ein Simulationslauf zu starten, der in einer für den Anwender noch als unmittelbar wahrgenommenen Zeitspanne (< 3 Sekunden) Ergebnisse liefert. Die Interaktivität eines Systems ist gegeben, wenn dem Benutzer diverse Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten ermöglicht werden, die den Dialog zwischen ihm und dem Computer kennzeichnen (Bieber und Leggewie 2004).

### 2.2 Systematik der Planung

Zur Einbindung eines solchen Montageplanungssystems in die operativen Planungsprozesse sind die vorhandenen Stamm- und Bewegungsdaten aus den vorhandenen ERP-Systemen automatisiert zu übernehmen. Die Wirkzusammenhänge von Montage und Versand sind in einem Simulationsmodell zu hinterlegen. Anhand der Ergebnisanalyse lassen sich notwendige Maßnahmen ableiten und durch Änderungen an den Stellgrößen erneut durch eine Simulationsberechnung bewerten. Mit der Funktionalität einer interaktiven Rückmeldung wird eine iterative Annäherung an einen Zielzustand durch Szenarienanalysen durch den Planer ermöglicht. Die Bereitstellung einer solchen Planungsplattform verknüpft das Anwendungswissen des Planers mit einer virtuellen Welt, in der Was-wäre-wenn-Szenarien spielerisch durchprobiert werden können und als Grundlage für eine Umsetzung in das reale System dienen. Durch ergonomisch einfach zu bedienenden Eingriffs- und Änderungsmöglichkeiten in der Planung lassen sich alle denkbaren Konfigurationen analysieren und bewerten und

ermöglichen durch die Interaktivität eine quasi online-Anpassung der Kapazitäten an aktuelle Bedarfe (Abb. 2).



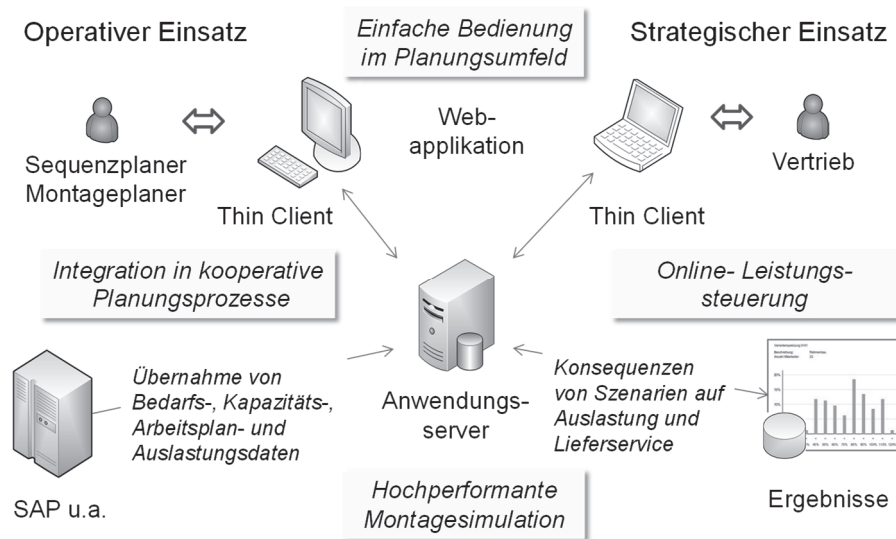
**Abbildung 2:** Methodik der interaktiven Simulation

### 2.3 Anwendungsarchitektur

Die Systemarchitektur des Planungssystems ist so zu gestalten, dass unterschiedliche Fragestellungen unabhängig voneinander und jederzeit möglich sind. Dies setzt einerseits eine verteilte Anwendung sowie eine extrem leistungsfähige Simulation im Sinne von Laufzeitverhalten voraus. In Abbildung 3 ist die grundlegende Architektur eines simulationsgestützten Planungssystems aufgezeigt, das von unterschiedlichen Anwendergruppen zeitgleich verwendet werden kann.

Für die Wahrnehmung einer interaktiven Rückmeldung an den Benutzer sind Antwortzeiten des Systems von wenigen Sekunden bindend. Um die Simulationsläufe über mehrere tausend Prozessschritte mit mannigfaltigen Entscheidungspunkten, ggfs. erweitert um Replikationen im Rahmen stochastischer Simulationen, in ein solch enges zeitliches Korsett zu zwängen, sind mehrere Maßnahmen zu ergreifen:

- Reduktion der in der Simulationsberechnung verwendeten Daten auf die notwendigen Indizes und Verknüpfung der Ergebnissimulationsdaten mit den für den Anwender relevanten Informationen;
- Begrenzung des Simulationsumfangs auf die durch die Veränderung relevanten Bereiche durch ein vorgeschaltete Analyse der Wirkungstiefe der Änderung;
- Vermeidung jedweder Schnittstellen und Transformationen zwischen den Funktionen von Simulation, Datenimport und -export, Client-Server-Anbindung, Datenverwaltung und -darstellung;
- Anwendung der verteilten Simulation von z.B. unabhängigen Teilbereichen oder Replikationen durch Nutzung von Mehrprozessorrechnern.



**Abbildung 3:** Anwendungsarchitektur der online-Leistungssteuerung

Eine solche IT-Architektur wurde in Anwendungsprojekten in enger Kooperation mit industriellen Partnern konzipiert und entwickelt. Die Softwarebibliothek umfasst eine Reihe von funktionalen Bausteinen und zeichnet sich neben den aufgezeigten Leistungsmerkmalen durch hohe Modularität und Erweiterbarkeit aus.

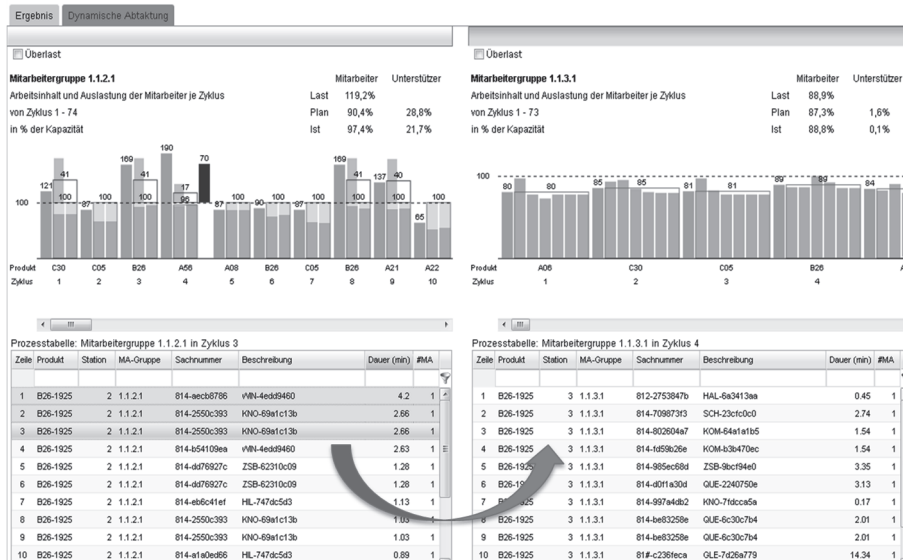
In der Folge kann durch die Einbindung von Optimierungsalgorithmen eine zeitnahe Entscheidungsgrundlage für Verbesserungen automatisiert zur Verfügung gestellt werden. Die Lösungskompetenz kann zudem auf angrenzende Planungsfelder z.B. der Logistik, erweitert werden.

## 2.4 Anwendung

Mit dem Planungsassistenten erhöht sich die Transparenz in der Analyse und Bewertung der Planungs- und Auslastungsdaten. Durch die interaktive Bedienung kann der Planer selbständig unterschiedliche Szenarien analysieren und bewerten und gewinnt kontinuierlich an Lösungswissen. Eine hohe Datenqualität ist anwendungsimmanent sichergestellt, da die Anwender eine hohe Motivation mitbringen, die Daten auf dem aktuellsten Stand zu halten, da sie diese für korrekte Prognosen benötigen. Sowohl die Dateneingabe als auch die Ergebnisse dienen ein und derselben Person, die somit ein Eigeninteresse an aktuellen und korrekten Daten hat.

Durch eine anschauliche Visualisierung der Ressourcenauslastung und Termineinhaltung der Aufträge ist eine gezielte Analyse und Bewertung sichergestellt. Im Falle notwendiger Planänderungen ist die Bewertung der Auswirkungen zeitnah aufzuzeigen. Dies soll am Beispiel einer geänderten Zuordnung von Prozessen zu einer Arbeitsgruppe illustriert werden. In Abbildung 4 sind auf der rechten und auf der linken Seite die Auslastungen und die zugeordneten Prozesse zweier Arbeitsgruppen dargestellt. Nun zeigt sich, dass es in der rechten Arbeitsgruppe mehrfach zu Überlastsituationen kommt. Durch die Zuordnung

ausgewählter Prozesse kann der Planer nun diese Prozesse der anderen Arbeitsgruppe zuordnen. Dabei werden alle Wirkzusammenhänge in Bezug auf Ressourcen- und Materialverfügbarkeit, Prozesszeitfolgen und Terminvorgaben berücksichtigt. Der Planer erhält unmittelbar eine Bewertung seines Planungsschrittes.



Alternative Prozesszuordnung per Drag & Drop

Abbildung 4: Interaktive Konfiguration und Simulation von Szenarien

Durch die Interaktivität der Anwendung sind mannigfaltige Szenarien durchspielbar. Gerade die Kombination aus dem Erfahrungswissen des Planers und der Abbildung komplexer Sachverhalte in der Montageplanung erlaubt eine zielgerichtete Reaktion auf kurzfristigen Änderungen und liefert die Transparenz über die Folgen einer solchen Planabweichung. Die Anwendung kann selbstverständlich auch bereits in der vorgelagerten Planungsstufe zur effizienteren bzw. robusteren Konfiguration der Montage genutzt werden.

### 3 Fazit und Ausblick

Die effiziente Auslastung der Montagemitarbeiter und -ressourcen im Anlagenbau ist aufgrund des hohen Personaleinsatzes und der damit verbundenen hohen Personalkosten eine stetige Aufgabe der Planung und Steuerung. Durch die hohe Produktvarianz werden unterschiedliche Maßnahmen zur Beherrschung der Varianz beschritten. Neben einer sinnvollen Reihenfolgebildung der eingesteuerten Aufträge kann dies mittel- bis langfristig durch eine Anpassung der Austaktung und kurzfristig durch die zeitnahe Bereitstellung von entscheidungsrelevanten Informationen erzielt werden, die einen jeweils auf die Gesamtsituation sinnvollen

Einsatz der Mitarbeiter ermöglicht. Dazu wurde im Beitrag aufgezeigt, wie mit Hilfe eines interaktiven, simulationsbasierten Planungswerkzeuges im Kurzfristbereich der Planung und Steuerung auch komplexe Wechselwirkungen zwischen der Zuordnung der Arbeitsinhalte, der Reihenfolge der Aufträge und der Zuordnung von Montagemitarbeiter berücksichtigt werden können.

Damit erschließt sich der Montageplanung eine online-Leistungssteuerung durch eine zeitnahe Anpassung der Planungsstellgrößen. Bislang konnte nur mit hohem manuellem Aufwand oder durch das Know-how von erfahrenen Montagesteuerer belastbare Aussagen über die Folgen alternativer Ablaufkonfigurationen getroffen werden. Mit dem vorgestellten Konzept eines interaktiven Montageplanungssystems ist eine kontinuierliche Überprüfung und Adaption der Montageplanung möglich.

## Literatur

- Altemeier, S.: Kostenoptimale Kapazitätsabstimmung in einer getakteten Variantenfließlinie. Dissertation, Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut: 2009
- Auer, S.; März, L.; Tutsch H.; Sihm, S.: Classification of Interdependent Planning Restrictions and their Various Impacts on Long-, Mid- and Short Term Planning of High Variety Production. In: Duffie, N.: New Worlds of Manufacturing. 44th CIRP International Conference on Manufacturing Systems 2011. Madison, Wisconsin: Omnipress 2011
- Bieber, C.; Leggewie, C.: Interaktivität: Ein transdisziplinärer Schlüsselbegriff. In: Interaktiva, Schriftenreihe des Zentrums für Medien und Interaktivität. Gießen: 2004
- Hentschel, R.: Montageplanung im Maschinen- und Anlagenbau. Chancen und Grenzen der "Lean-Prinzipien" in der Planung von komplexen Montagen. In: Westkämper, E.; Verl, A. (Hrsg.): Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung -IPA-, Stuttgart: Schlanke Produktionsabläufe und zukunftsfähige Werkstrukturen: Konsolidieren - Sichern - Erweitern, 24. November 2009, S. 89-105
- Minichmayr, J.; Auer, S.; Sihm, W.: Restriktionsbasierter Informationsaustausch zur harmonisierten Auftragsplanung in der variantenreichen Fahrzeugproduktion. In: Spath, D. (Hrsg.) ; Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. - HAB-, München: Wissensarbeit - zwischen strengen Prozessen und kreativem Spielraum : 24. HAB-Forschungsseminar der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation; 07. - 08. Oktober 2011 in Stuttgart. Berlin: GITO-Verlag, 2011 (Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V.), S. 477-490